

*Beachte! Gib alle Messwerte und berechneten Werte in SI-Einheiten und mit einer sinnvollen Anzahl signifikanter Stellen an.*

*Fehlerabschätzungen müssen nur dann durchgeführt werden, wenn explizit danach gefragt ist.*

## 1.0 Einleitung - Experimente mit einem Laserentfernungsmesser (LDM)



**Abb. 1.1** Einige der in dem Experiment verwendeten Materialien

- A:** Laserentfernungsmesser (LDM)
- B:** Lichtleiter (Glasfaserkabel einer Länge von etwa 1 m)
- C:** Schwarze Filzaufkleber mit Loch
- D:** Maßband
- E:** Klebeband
- F:** Schere
- G:** Deckel der schwarzen Box

Ein Laserentfernungsmesser (Laser Distance Meter - LDM) beinhaltet einen Sende- und einen Empfangsteil (vgl. Abb. 1.2 und Abb. 1.3). Als Sender dient eine Laserdiode, die einen modulierten Laserstrahl emittiert, dessen Amplitude mit hoher Frequenz variiert. Wenn der Laserstrahl auf ein Objekt trifft, wird der Strahl in der Regel diffus reflektiert. Daher gelangt ein Teil des gestreuten Lichtes zum Empfänger des Entfernungsmessers, der sich direkt neben dem Sendeteil befindet. Die

Optik des LDMs fokussiert dabei auf den Auftreffpunkt des Laserstrahls und empfängt das reflektierte Licht.

Die Elektronik des Instruments misst die Zeitdifferenz in der Modulation des empfangenen Lichts relativ zum ausgesendeten Lichtsignal. Die Verzögerungszeit  $t$  der Modulation ist genau die Zeit, welche das Licht benötigt, um vom Sender zum Empfänger zu gelangen. Die gemessene Zeit wird dann gemäß

$$y = \frac{1}{2}ct + k$$

in die vom Gerät angezeigte Länge  $y$  umgewandelt. Dabei ist  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$  die Vakuumlichtgeschwindigkeit und  $k$  eine von dem Gerät und dessen Einstellungen abhängige Konstante. Das LDM kann so eingestellt werden, dass es die Länge entweder von seiner Rückseite aus oder seiner Frontseite aus misst. Beim Einschalten ist standardmäßig die Messung von der Rückseite aus eingestellt. **Diese Einstellung muss während aller Messungen beibehalten werden!**

Aufgrund von Parallaxeneffekten kann das LDM keine Längen unter 5 cm messen. Die maximal messbare Länge beträgt etwa 25 m. Das Gerät ist so gebaut, dass die Rück- und die Frontseite senkrecht zum Laserstrahl ausgerichtet sind. Wenn das LDM auf einem Tisch liegt, ist der Strahl vertikal (also senkrecht zum Display) polarisiert.

**Die vom Hersteller angegebene Genauigkeit des LDM beträgt  $\pm 2$  mm.**

**Der Diodenlaser ist ein Laser der Klasse 2 mit einer Leistung  $< 1$  mW und einer Wellenlänge von 635 nm.**

**Achtung: Der Diodenlaser kann die Augen schädigen. Schau auf keinen Fall in den Laserstrahl und richte ihn nicht auf andere Personen!**

### *Einstellungen des LDM*

In der obigen Rechnung der Länge  $y$  wird angenommen, dass sich das Licht mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c$  bewegt. Bei der in diesem Experiment erreichbaren Genauigkeit ist es nicht notwendig, zwischen der Vakuumlichtgeschwindigkeit und der Lichtgeschwindigkeit in Luft zu unterscheiden, da der Brechungsindex von trockener Luft bei Normalbedingungen etwa  $1,00029 \approx 1,000$  beträgt.

**Abb. 1.2 (rechts)** Die zu verwendenden Elemente des LDM:

- A:** Ein-/Ausschalter
- B:** Umschalter zwischen Messung vom hinteren oder vorderen Ende
- C:** Anzeige für Messung vom hinteren oder vorderen Ende
- D:** Einschalten des Lasers / Start einer Messung
- E:** Kontinuierlicher Messmodus
- F:** Anzeige für kontinuierlichen Messmodus



Die nicht beschrifteten Knöpfe werden nicht verwendet (sie dienen u.a. der Bestimmung von Flächen und Volumina).



**Abb. 1.3** Der Laserentfernungsmesser gesehen von der Vorderseite:

**A:** Empfänger: Linse, fokussiert auf den Auftreffpunkt des Lasers

**B:** Sender (Emitter): Nicht in den Laserstrahl schauen!

## 1.1 Messungen mit dem Laserentfernungsmesser

Das Gerät führt eine Messung durch, wenn der Knopf **D** gedrückt wird (vgl. Abb. 1.2).

1.1a	Verwende den Entfernungsmesser, um den Abstand $H$ von der Oberkante der Tischplatte zum Fußboden zu bestimmen. Gib die Unsicherheit $\Delta H$ des Ergebnisses an. Stelle dein Messverfahren mit einer Skizze dar.	0,4
------	---	-----

## 1.2 Experiment mit einem Lichtleiter



**Abb. 1.4** Aufbau eines Lichtleiters.

Für das Experiment steht ein Lichtleiter mit einer Länge von etwa 1 m zur Verfügung. Der äußere Durchmesser des Lichtleiterkabels beträgt etwa 2 mm. Das Innere des Leiters, der eigentliche Lichtleiter, besteht aus zwei Materialien. Der Kern (Durchmesser etwa 1 mm) besteht aus einem

Kunststoffmaterial mit einem hohen Brechungsindex. Um den Kern befindet sich ein Mantel aus einem Material mit einem etwas geringeren Brechungsindex. Schließlich ist der Leiter zum Schutz noch mit einer schwarzen Plastikschiicht umhüllt. Kern und Mantel bilden einen Lichtwellenleiter, da an dem Übergang vom Kern zum Mantel Totalreflexion auftritt, wenn der Einfallswinkel größer als der Winkel der Totalreflexion ist. Dadurch verbleibt das Licht auch bei einem nicht zu stark gebogenen Lichtleiter im Kern.

Der LDM sollte auf „fortlaufende Messung“ (**E**, siehe Abb. 1.2) gestellt werden, so dass der im Display angezeigte Wert  $y$  ungefähr einmal pro Sekunde aktualisiert wird. Der LDM wird sich nach einigen Minuten selbstständig ausschalten. Es kann durch Drücken der roten Starttaste reaktiviert werden.

Klebe vorsichtig einen der beiden Filzaufkleber mit Loch (Durchmesser etwa 2 mm) auf die Linse des Empfangsteils (vgl. Abb. 1.3, **A**). Die selbstklebende Seite des Aufklebers sollte vorsichtig auf die Linse gedrückt werden.

Führe ein Ende des Lichtleiterkabels so in das Loch, dass es die Linse berührt (vgl. Abb. 1.5).



**Abb. 1.5 (a)** Filzaufkleber und Lichtleiter. **(b)** Anbringung des Lichtleiters.

Das andere Ende des Kabels sollte vorsichtig so vor den Emitter gehalten werden, dass es das Glas in der Mitte des Laserstrahls berührt. Nimm nun den angezeigten Wert für  $y$  auf. Mit der Schere kannst du Teile des Lichtleiters abschneiden und so die Länge  $x$  des Kabels verändern.

### **Achtung!**

**Überlege sehr genau, wann es erforderlich ist, ein weiteres Stück vom Lichtleiterkabel abzuschneiden.**

### **Es gibt keinen Ersatz!**

Da sich die Elektronik des LDM im kontinuierlichen Betrieb aufheizt, kann es sein, dass ein Thermometer im Display auftaucht. Falls dies geschieht, schalte das LDM zum Abkühlen eine Weile aus.

1.2a	Führe für verschiedene Längen $x$ Messungen für $y$ durch. Stelle deine Messwerte tabellarisch dar. Zeichne einen Graphen der, $y$ als Funktion von $x$ zeigt.	1,8
1.2b	Benutze den Graphen, um den Brechungsindex $n_{co}$ des Kernmaterials des Lichtleiters zu bestimmen. Berechne die Lichtgeschwindigkeit $v_{co}$ im Kern des Lichtleiters.	1,2

## 1.3 Schief stehender Laserentfernungsmesser

In diesem Versuchsteil wird das in der Abbildung 1.6 gezeigte Material benötigt.

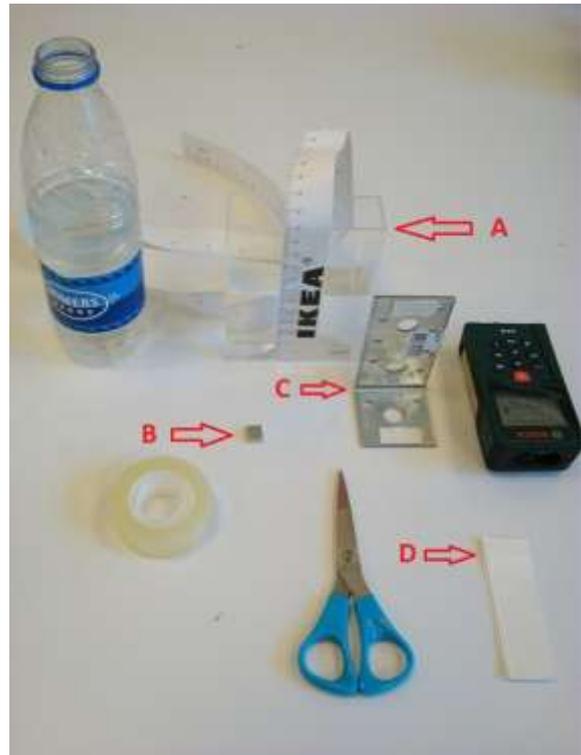
**Abb. 1.6 (rechts)** Material in der Abbildung:

**A:** Durchsichtiges Gefäß mit Wasser und Maßband

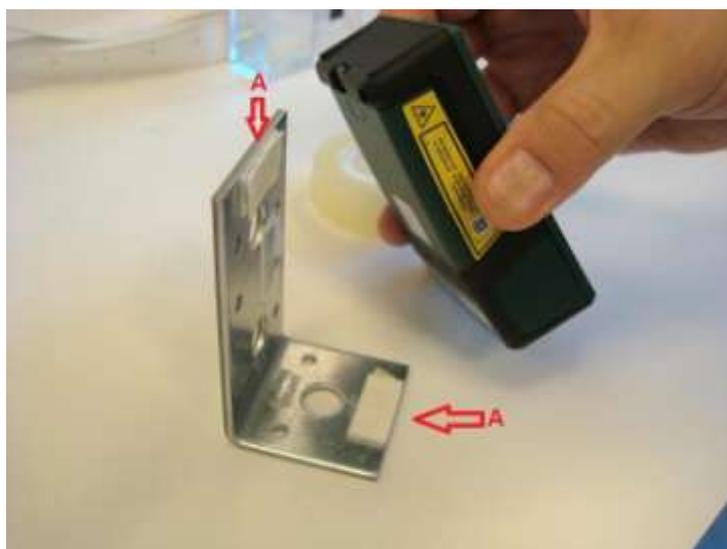
**B:** Magnet: Dient zur Fixierung des Eisenwinkels an der schwarzen Box (siehe Bild 1.9). Dieser Magnet befindet sich vorerst auf dem Eisenwinkel.

**C:** Eisenwinkel mit Schaumstoffaufkleber

**D:** Schaumstoffaufkleber



**Entferne die Filzscheibe von der Linse.** Der LDM soll nun wie folgt befestigt werden: Klebe zwei Stücke selbstklebendes Montageband auf das Winkeleisen (siehe **A** in Abb. 1.7).



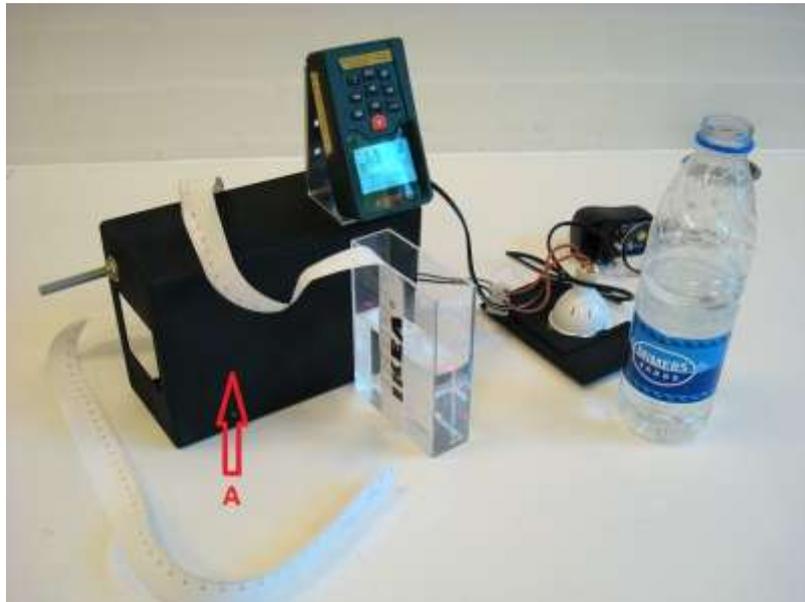
**Abb. 1.7** Anbringung der Schaumstoffaufkleber auf dem Eisenwinkel.

Der Laserentfernungsmesser soll nun, wie in Abbildung 1.8 gezeigt, auf dem Winkel platziert werden.



**Abb. 1.8** Befestigung des LDM auf dem Winkeleisen.

Das Winkeleisen mit dem LDM soll nun, wie in Abb. 1.9 gezeigt, auf der schwarzen Box befestigt werden. Sichern das Winkeleisen mit dem Magnet von der Innenseite der Box. Es ist wichtig, dass das LDM genau wie auf dem Foto befestigt wird, da die Seite der Box, welche nach oben zeigt, einen Winkel von ungefähr  $4^\circ$  aufweist. Der Laserstrahl sollte nun schräg nach unten zeigen, ohne auf Hindernisse zu treffen.



**Abb. 1.9** Versuchsaufbau: Die schwarze Box dient nur als Stützvorrichtung. Das Material hinter der Flasche wird in diesem Versuch nicht benötigt.

**A:** Wichtig: Die schwarze Box wird so auf die Seitenfläche gestellt, dass die Bodenfläche von vorne sichtbar ist. Die jetzt oben befindliche Fläche ist dann um etwa  $4^\circ$  gegen die Horizontale geneigt. Es ist wichtig, dass das Winkeleisen mit dem LDM so angebracht wird, dass der Laserstrahl während des Experiments immer im selben Winkel nach unten strahlt.

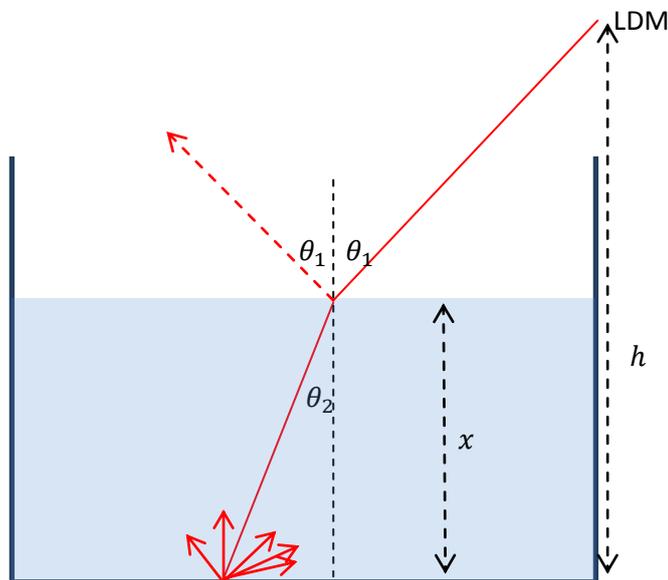
Wenn der wie oben beschrieben befestigte LDM eingeschaltet wird, weist der Laserstrahl einen Winkel  $\theta_1$  zur Vertikalen auf. Dieser Winkel, welcher während des Experiments nicht verändert

werden darf, soll bestimmt werden. Das Gefäß mit Wasser wird für den folgenden Versuch noch nicht benötigt und kann deshalb beiseite gestellt werden.

1.3a	Miss mit dem LDM die Entfernung $y_1$ zum Auftreffpunkt des Laserstrahls auf der Tischplatte. Verschiebe dann die Box so, dass der Laserstrahl auf den Fußboden auftrifft. Miss die Entfernung $y_2$ zum Auftreffpunkt des Strahls auf dem Fußboden. Schätze jeweils den Fehler ab.	0,2
1.3b	Berechne den Winkel $\theta_1$ aus den Messwerten $y_1$ , $y_2$ und $H$ (gemessen in 1.1a). Bestimme den Fehler $\Delta\theta_1$ .	0,4

## 1.4 Experiment mit dem durchsichtigen Gefäß

Stelle das durchsichtige Gefäß so auf, dass der Laserstrahl etwa in der Mitte des Gefäßes auf dessen Boden trifft (vgl. Abb. 1.10). Gieß etwas Wasser in das Gefäß. Die Wassertiefe wird mit  $x$  bezeichnet. Lies den Wert für  $y$  auf dem Display des LDM ab.



**Abb. 1.10** Skizze für den Strahlenverlauf des Laserstrahls im Gefäß bei einer Wassertiefe  $x$ .

1.4a	Führe für verschiedene Höhen $x$ Messungen für $y$ durch. Erstelle eine Wertetabelle. Zeichne einen Graphen, der $y$ als Funktion von $x$ zeigt.	1,6
1.4b	Verwende entsprechende Gleichungen, um den Verlauf des Graphen theoretisch zu erklären.	1,2
1.4c	Bestimme mit Hilfe des Graphen den Brechungsindex $n_w$ von Wasser.	1,2

**Antwortblatt**

Ländercode (2 Buchstaben)

Schülernummer (1-5)

1.1a	Wert für $H =$ Skizze auf einem eigenen Blatt.	Wert für $\Delta H =$	0,4
------	---	-----------------------	-----

1.2a	Tabelle:				1,8
	Füge den Graphen von $y$ als Funktion von $x$ auf einem gesonderten Blatt bei.				
1.2b	Wert für $n_{co} =$ Führe die Rechnungen auf einem eigenen Blatt durch.	Wert für $v_{co} =$	1,2		

1.3a	Wert für $y_1 \pm \Delta y_1 =$	Wert für $y_2 \pm \Delta y_2 =$	0,2
1.3b	Wert für $\theta_1 =$	Wert für $\Delta\theta_1 =$	0,4
Führe die Rechnungen auf einem eigenen Blatt durch.			

1.4a	Tabelle:			1,6
Füge den Graphen von $y$ als Funktion von $x$ auf einem gesonderten Blatt bei.				
1.4b	Gib die Gleichungen auf einem eigenen Blatt an.		1,2	
1.4c	Wert für $n_w =$		1,2	
Führe die Rechnungen auf einem eigenen Blatt durch.				
<b>Summe</b>			<b>8,0</b>	